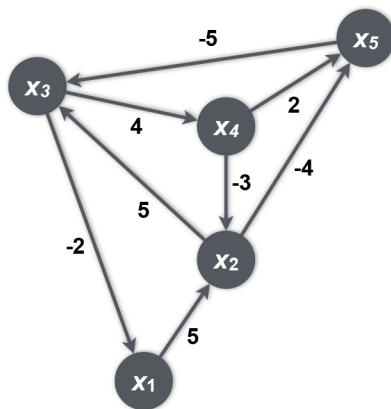


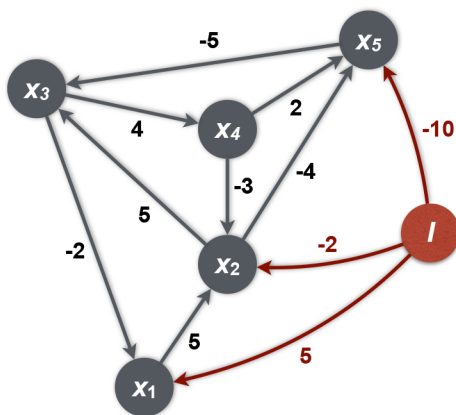
## 9. Apéndices

**Apéndice 1.** El digrafo del sistema y su matriz de influencias. Arriba la izquierda, digrafo ponderado de un sistema socioeconómico pequeño, a modo de ejemplo. Nótese que los pesos de las aristas pueden ser positivos o negativos. Arriba a la derecha, la matriz de influencias equivalente. Abajo a la izquierda, ejemplo de intervención (en rojo) aplicada al sistema de estudio. La intervención (I) consiste en una presión negativa (inhibitoria) sobre  $x_2$  y  $x_5$ , junto a una presión positiva (reforzadora) sobre  $x_1$ . Abajo a la derecha, la matriz de influencias equivalente.

**Appendix 1.** The digraph of the system and its matrix of influences. Above left, weighted digraph of a small socio-economic system, as an example. Note that edge weights can be positive or negative. Top right, the equivalent influence matrix. Bottom left, example of intervention (in red) applied to the study system. Intervention (I) consists of a negative (inhibitory) pressure on  $x_2$  and  $x_5$ , together with a positive (reinforcing) pressure on  $x_1$ . Bottom right, the equivalent influence matrix.



$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & -3 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & -5 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$



$$M^I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 5 \\ 5 & 0 & 0 & -3 & 0 & -2 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & -5 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 2 & 0 & -10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



*Apéndice 2. Elementos del sistema.*

*Appendix 2. Elements of the system.*

Aquí se describen los 20 temas claves identificados, que pasarán a constituirse en los elementos (i.e., variables) de nuestro modelo sistémico.

1. **Nivel de energización rural.** La región de Coquimbo posee un alto grado de dispersión territorial debido a su geomorfología y la estructura de centros poblados resultantes. Como consecuencia, tiene dificultades para otorgar servicios energéticos a la población de las localidades rurales aisladas. Esto restringe el desarrollo humano y la calidad de vida de esta población.
2. **Déficit energético y pobreza rural.** En la región existe una relación estrecha entre el déficit de energía y la pobreza rural, en particular en las provincias que presentan problemáticas de escasez hídrica o de aislamiento territorial.
3. **Nivel de desconfianza de la comunidad frente a proyectos de energía.** Los proyectos energéticos en los últimos años han recibido críticas por parte de la población local, por sus posibles externalidades negativas al medio ambiente. Esta situación se presenta como una tendencia creciente en los últimos años. Si bien en un inicio los conflictos estaban principalmente asociados al posible incremento de material particulado y dióxido de azufre en el aire, la paleta de críticas se ha ampliado. De hecho, todo proyecto energético recibe alguna manifestación crítica o de rechazo. Incluso el desarrollo de las energías renovables genera percepciones críticas.
4. **Condicionamiento territorial para el desarrollo energético.** Distintos regímenes y situaciones del suelo regional suponen condicionantes para el desarrollo de proyectos energéticos. Entre estas se hayan: áreas en protección oficial de la biodiversidad terrestre, áreas de interés para la biodiversidad terrestre que aún no cuentan con estatus de protección, suelos agrícolas de alta calidad, instrumentos de planificación territorial de nivel comunal, intercomunal y provincial, solicitudes de exploración y explotación minera, existencia de amplias áreas de suelo rural en manos de comunidades agrícolas, alto grado de privatización del suelo regional.
5. **Escasez y conflictividad del recurso hídrico.** La intensa y prolongada escasez de agua, que posiblemente ha de intensificarse por efecto del cambio climático, ha profundizado los conflictos de uso del recurso hídrico entre sus distintos usuarios: agricultura-minería, minería-energía, varios usuarios-abastecimiento, entre otros. El conflicto por los usos del agua afecta los posibles desarrollos energéticos hidroeléctricos de cualquier escala, así como todo desarrollo energético que requiera del recurso agua. A la vez, desarrollos tendientes a disminuir la escasez hídrica, tales como la desalinización y su elevación a altas cotas, supone



también una demanda energética relevante a satisfacer, complejizando así la demanda energética regional.

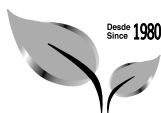
6. **Debilidad institucional.** La región cuenta solo muy recientemente con una Secretaría Regional Ministerial de Energía, que ha ido sentando bases de una gestión regional del sector, lo que incluye cambios institucionales, establecidos en la Política 2050. Ello permitirá mejorar las coordinaciones al interior del Ministerio de Energía, así como la gobernanza público-privada regional. Sin embargo, históricamente ha existido muy poca coordinación de los actores públicos y privados tanto a nivel regional, como en el nivel del gobierno central. Igualmente, las problemáticas energéticas han estado muy poco presentes en las políticas municipales. En definitiva, y tomando todas las escalas de gobernanza regional, el sector y la política energética han carecido de mecanismos de coordinación eficaces.
7. **Dificultades para el desarrollo de las energías renovables.** La región presenta un gran potencial, y recientemente un incremento, de la generación eléctrica en base a energías renovables, principalmente en proyectos eólicos y en menor medida solares. No obstante, pese a que las oportunidades de negocios y desafíos energéticos son significativas, existen fuertes barreras e incertidumbres que inhiben la inversión de energías renovables. Estas barreras son normativas, financieras, técnicas, ambientales, sociales, e incluso combinaciones entre varias de estas. También se constatan barreras institucionales, relacionadas a emisión de permisos, solicitudes de diverso tipo, entre otros.
8. **Descapitalización del mundo rural.** Existen una serie de problemáticas en los modelos institucionales y de negocios que se manifiestan en barreras para la generación de oportunidades energéticas rurales. El problema del acceso a la energía en ámbitos rurales es recurrente, los modelos institucionales no han cambiado en este sentido, y no han sido capaces de enfrentar el problema de cobertura en aquellas zonas donde los modelos de negocios de las empresas distribuidoras no son rentables. Allí el problema persiste, a pesar de intentos de electrificación rural. Estos obstáculos impiden el desarrollo de iniciativas energéticas, como son los pequeños medios de generación distribuidos. Se observa potencial para estas iniciativas, las que además favorecerían el necesario recambio productivo, desde actividades hasta ahora agrícolas hacia actividades de generación y distribución de energía. El acceso a la financiación es, sin duda, otro elemento relevante, como lo son también los problemas de naturaleza más técnica como la limitada disponibilidad de líneas de distribución, lo que también supone un factor de coste relevante. Un papel similar juega el desconocimiento y debilidades de información en asuntos energéticos en general y, en particular, la carencia de capacidades técnicas para el desarrollo de proyectos de energías renovables.
9. **Riesgos ambientales de las energías renovables.** Los proyectos eólicos y solares, pero en particular los últimos, suelen requerir una extensa área de intervención. Esto lleva implícitos



ciertos riesgos, hasta ahora poco considerados, de afección directa y sinérgica o acumulativa sobre la flora y fauna en estado de conservación, o de valores paisajísticos o arqueológicos.

10. **Nivel de gestión de cuencas hidrográficas.** La región se encuentra en una situación problemática frente a los recursos hídricos. Un reflejo de esto es el estado de la gestión y planificación de cuencas hidrográficas que presenta un bajo nivel de integración, pese a contar con un plan maestro para la gestión de recursos hídricos en la región, alineado recientemente a la política Nacional de Gestión Integrada de Cuencas.
11. **Sequía y desertificación.** La región de Coquimbo afronta problemas serios derivados de los procesos de desertificación y sequía. Esta situación ha llevado a la declaración de escasez hídrica para todas las comunas de la región desde ya hace varios años, las que se renuevan sistemáticamente. La última situación de escasez se establece mediante el Decreto del Ministerio de Obras Públicas n.º 72 de 01.07.2020. Actualmente la zona con mayores problemas de erosión en el país es la región de Coquimbo, con el 84 % de sus suelos erosionados, 65.3 % de ellos en categorías severa o muy severa, lo que significa 2.9 millones de hectáreas con riesgo de erosión actual.
12. **Nivel de insatisfacción frente a procesos participativos.** Entre los actores regionales involucrados en los procesos participativos existe un consenso respecto de la limitada efectividad de la participación en el ámbito decisional de las políticas públicas. Existe un descrédito y una falta de credibilidad sobre los procesos participativos, y se identifica la necesidad de formalizar y asegurar procesos efectivos de participación y seguimiento.
13. **Despoblamiento rural.** La región sufre un proceso de mutaciones en la ruralización. Por un lado, aunque menos intenso que el que se verifica a nivel nacional, se reproduce una desruralización y, por otro lado, diversificado según cuenca y en ciertos valles, se manifiesta un acelerado proceso de urbanización en zonas rurales. Este proceso de cambios debilita la estructura territorial regional, restándole riqueza y resiliencia, reduciendo los servicios territoriales a escala regional.
14. **Concentración de la población en conurbación Serena-Coquimbo.** La conurbación Serena-Coquimbo se ha transformado en el principal atractor de población en la región, es destino de importantes flujos demográficos intrarregionales e interregionales. Esto ha transformado y seguirá transformando, de forma significativa, la estructura del complejo de centros poblados regionales, y ha generado un sistema muy descompensado con un gran polo urbano y un conjunto, escasamente integrado, de centros poblados menores.
15. **Nivel de desintegración funcional del territorio.** El territorio regional presenta, gracias a sus condiciones topográficas, un escaso nivel de integración funcional entre sus principales





elementos estructurantes, su sistema de ciudades, sus sistemas de comunicación, sus actividades económicas y usos del suelo, entre otros.

16. **Monoproduktividad de economías territoriales.** La escasa integración territorial regional ha dado lugar o se ha asociado a una fuerte especialización productiva. Esto ha generado subterritorios caracterizados por una fuerte especialización económica, con bajo grado de diversificación interna y con una escasa integración entre estas economías.
17. **Desarticulación económica y territorial minera.** La minería se ha transformado en un gran colonizador del territorio regional, formándolo y transformándolo de manera intensa. No obstante, su carácter de economía de enclave ha limitado notablemente su capacidad para diversificar las economías subregionales y locales, o para mejorar la estructura y resiliencia de la estructura territorial regional. Por el contrario, la minería ha tendido a simplificar las economías locales y subregionales.
18. **Autonomía territorial minera.** El desarrollo minero, en particular el de gran escala, constituye una de las fuerzas motrices más relevantes de modificación del territorio regional. Su desarrollo, no obstante, no es condicionado ni se funda en la estructura regional existente, sino que más bien genera sus propias lógicas y estructuras territoriales, muchas de las cuales tienen un alcance regional. Esto genera una disfuncionalidad básica entre la estructura territorial regional y el desarrollo territorial minero, con fuertes desequilibrios.
19. **Concentración territorial de la infraestructura energética.** La infraestructura de transmisión y distribución, así como la de generación, se distribuyen de forma muy desigual en la región, muy concentrada en torno a la Ruta 5, principal arteria de transporte terrestre del país, y las pocas líneas de transmisión hacia las actividades mineras del interior.
20. **Concentración territorial de la demanda.** La demanda energética regional se encuentra extremadamente concentrada, por un lado, en el ámbito urbano en la conurbación Serena-Coquimbo y, por otro, en el ámbito industrial en la actividad minera en dos o tres localizaciones específicas. Ambas modalidades, suponen en conjunto, casi la totalidad del consumo de energía.



**Apéndice 3.** Métricas propuestas para el análisis prospectivo de sistemas socio-naturales complejos.  
**Appendix 3.** Proposed metrics for the prospective analysis of complex socio-natural systems.

Sensibilidad.  $S_i \in [0,1]$  indica la propensión de la variable  $x_i$  a ser afectada por presiones ejercidas sobre otras variables del sistema.

$$S_i = \frac{\sum_{j \neq i} |a_{ij}|}{2(n-1)}$$

Efectividad.  $K_i \in [0,1]$  indica la capacidad de la variable  $x_i$  para ejercer cambios en los valores de equilibrio de las  $\neq$  variables del sistema.

$$K_j = \frac{\sum_{i \neq j} |a_{ij}|}{2(n-1)}$$

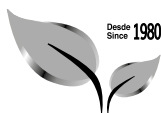
Virtuosismo.  $U_j \in [-1, 1]$  indica la capacidad de la variable  $x_j$  de transmitir cambios valorados positivamente en las otras variables del sistema. Es decir, es la capacidad de la variable  $x_j$  de, dado un aumento en ella, aumentar el valor de las variables positivas y disminuir el valor de las variables negativas.

$$U_j = \frac{\sum_{i \neq j} v_i a_{ij}}{\sum_{i \neq j} |a_{ij}|}$$

Reactividad positiva.  $R_i \in [-1, 1]$  indica la propensión de la variable  $x_i$  a ser incrementada por cambios valorados positivamente en otras variables del sistema o reducida por cambios valorados negativamente.

$$R_i = \frac{\sum_{j \neq i} v_j a_{ij}}{\sum_{j \neq i} |a_{ij}|}$$





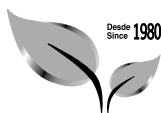
**Apéndice 4.** Detalle de valores de propiedades SRKU de las variables de sistema (Var), previo a la intervención (S, R, K, U), posterior a la intervención en el escenario 1 (S-I1, etc.) y posterior a la intervención en el escenario 2 (S-I2, etc.). En la segunda columna se muestra la valoración (positiva=1 o negativa=-1) de cada variable.

**Appendix 4.** Detail of SRKU property values of the system variables (Var), prior to the intervention (S, R, K, U), after the intervention in scenario 1 (S-I1, etc.) and after the intervention on stage 2 (S-I2, etc.). The second column shows the evaluation (positive = 1 or negative = -1) of each variable.

Var	Valor	S	R	K	U	S-I1	R-I1	K-I1	U-I1	S-I2	R-I2	K-I2	U-I2
1	1	0.342	0.846	0.263	0.800	0.342	0.692	0.263	0.800	0.342	0.846	0.263	0.800
2	-1	0.342	-0.077	0.342	-0.538	0.421	0.000	0.368	-0.429	0.342	-0.077	0.342	-0.538
3	-1	0.184	-0.429	0.184	0.714	0.184	-0.714	0.263	0.800	0.263	-0.200	0.211	0.750
4	-1	0.132	0.600	0.316	0.500	0.184	0.143	0.395	0.600	0.132	0.600	0.263	0.400
5	-1	0.237	0.333	0.395	-0.067	0.368	0.571	0.395	-0.067	0.237	0.333	0.421	-0.125
6	-1	0.421	0.750	0.447	-0.647	0.421	0.750	0.474	-0.667	0.421	0.750	0.421	-0.875
7	-1	0.447	-0.765	0.316	0.833	0.447	-0.765	0.368	0.857	0.447	-0.765	0.368	0.857
8	-1	0.474	-0.222	0.158	0.667	0.474	-0.222	0.237	0.778	0.474	-0.222	0.211	0.750
9	-1	0.132	0.600	0.237	0.556	0.132	0.600	0.395	0.600	0.237	0.556	0.237	0.556
10	1	0.316	-0.833	0.368	0.143	0.316	-0.833	0.316	0.167	0.289	-0.818	0.368	0.143
11	-1	0.158	0.333	0.342	-0.077	0.158	0.333	0.316	0.000	0.158	0.333	0.368	0.000
12	-1	0.316	0.833	0.079	0.333	0.316	0.833	0.105	0.000	0.368	0.714	0.079	0.333
13	-1	0.395	0.200	0.289	-0.455	0.474	0.333	0.289	-0.455	0.368	0.143	0.289	-0.455
14	-1	0.289	-0.091	0.342	-0.077	0.342	0.231	0.368	0.000	0.289	-0.091	0.342	-0.077
15	-1	0.368	-0.714	0.263	0.000	0.474	-0.333	0.263	0.000	0.368	-0.714	0.263	0.000
16	-1	0.395	-0.333	0.342	0.231	0.474	-0.111	0.368	0.286	0.368	-0.429	0.342	0.231
17	-1	0.289	-0.273	0.211	-0.250	0.342	-0.077	0.211	-0.250	0.289	-0.273	0.211	-0.250
18	-1	0.316	0.167	0.316	-0.167	0.342	0.231	0.342	-0.077	0.316	0.167	0.316	-0.167
19	-1	0.000	0.000	0.316	-0.167	0.000	0.000	0.368	0.000	0.000	0.000	0.289	-0.273
20	-1	0.316	-0.333	0.342	0.077	0.289	-0.455	0.395	0.067	0.289	-0.273	0.395	0.200







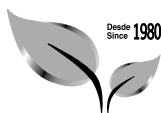
**Apéndice 5.** Valores de centralidad direccionada para las variables de sistema (Var). Grado total (Grado\_tot), grado de entrada (Grado\_in), grado de salida (Grado\_out), intermediación (Interm), cercanía de entrada (Cerc\_in) y cercanía de salida (Cerc\_out).

**Appendix 5.** Addressed centrality values for system variables (Var). Total grade (Grade\_tot), entry grade (Grade\_in), exit grade (Grade\_out), intermediation (Interm), entry closeness (Cerc\_in) and exit closeness (Cerc\_out).

Var	Grado_tot	Grado_in	Grado_out	Interm	Cerc_in	Cerc_out
1	2	1	1	6.750	0.014	0.012
2	5	2	3	72.500	0.017	0.015
3	5	4	1	27.833	0.014	0.012
4	3	1	2	22.083	0.010	0.013
5	6	2	4	63.250	0.012	0.020
6	4	1	3	173.250	0.018	0.020
7	6	5	1	174.250	0.025	0.015
8	3	2	1	37.000	0.019	0.012
9	3	1	2	1.000	0.009	0.013
10	3	1	2	73.000	0.014	0.017
11	3	1	2	1.750	0.012	0.017
12	2	1	1	13.500	0.014	0.010
13	4	2	2	42.000	0.019	0.013
14	3	1	2	14.500	0.014	0.015
15	7	4	3	48.250	0.018	0.014
16	7	4	3	59.500	0.022	0.015
17	3	2	1	7.917	0.016	0.011
18	4	2	2	27.500	0.017	0.014
19	1	0	1	0.000	0.000	0.014
20	6	3	3	61.167	0.014	0.018







**Apéndice 6.** Valores del coeficiente de correlación lineal para las 24 combinaciones de medidas de centralidad y SRKU.

**Appendix 6.** Values of the linear correlation coefficient for the 24 combinations of centrality measures and SRKU.

	Grado_tot	Grado_in	Grado_out	Interm	Cerc_in	Cerc_out
S	0.434	0.471	0.125	0.582	0.907	0.033
R	-0.502	-0.642	-0.004	-0.260	-0.364	-0.044
K	0.299	-0.072	0.664	0.492	0.014	0.888
U	-0.046	0.288	-0.506	-0.127	0.068	-0.435

**Apéndice 7.** Significación estadística (valor-P) para la correlación entre las 24 combinaciones de medidas de centralidad y SRKU.

**Appendix 7.** Statistical significance (P-value) for the correlation between the 24 combinations of centrality measures and SRKU.

	Grado_tot	Grado_in	Grado_out	Interm	Cerc_in	Cerc_out
S	0.056	0.036	0.600	0.007	0.000	0.890
R	0.024	0.002	0.988	0.269	0.115	0.855
K	0.200	0.763	0.001	0.028	0.954	0.000
U	0.847	0.219	0.023	0.593	0.775	0.055

